

Sera Gazı Emisyon Ölçütleri Üzerine K-Ortalama ve Hiyerarşik Kümeleme Analizi: G20 Örneği*

Greenhouse Gas Emission-Based K-Means and Hierarchical Cluster Analysis : The Case of the G20

Mutlu Tüzer ¹ , Seyhun Doğan ² 

¹(Dr.), İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

²(Prof. Dr.), İstanbul Üniversitesi, İktisat Fakültesi, İktisat Bölümü, İstanbul, Türkiye

*Bu çalışma, Prof. Dr. Seyhun Doğan'ın danışmanlığında Mutlu Tüzer tarafından hazırlanan “Küresel Isınma ve İklim Değişikliği: Mücadelede Kullanılan Ekonomik Yöntem ve Araçlar” başlıklı doktora tezinden türetilmiştir.

ÖZ

İklim değişikliğinin azaltılmasından tam olarak ne anlaşıldığı, belirlenen amaç ve hedeflerin başarısını ölçmek için en uygun iklim göstergesinin ne olması gerektiği, seçilen iklim göstergesinin hangi seviyesinin iklim değişikliğini kabul edilebilir sınırlar içinde tutabileceği, ne çeşit iklim sürprizleriyle karşılaşılacağı ve seçilen iklim hedefinin ekonomik, sosyal ve politik faktörler ile nasıl uyumlu hale getirilebileceği, mücadele politikasının amaç ve hedeflerinin belirlenmesi sürecinde cevaplanması gereken sorular arasında yer almaktadır. 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile başlayan ve 2015 yılında Paris Anlaşması ile sonuçlanan uluslararası çabalar küresel ortalama sıcaklıklardaki artışın Sanayi Devrimi öncesi döneme kıyasla 1,5 °C ile sınırlandırılması hedefini iklim değişikliği politikasının küresel standardı haline getirmiştir. Bu hedefin gerçekleştirilmesi için toplam sera gazı emisyonlarının azaltılması gerekmektedir. Bu çalışmada, farklı emisyon ölçütlerine dayalı olarak iki farklı kümeleme analizi yöntemiyle G20 üyelerinin birbirleriyle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda k-ortalama kümeleme analizi ve hiyerarşik kümeleme analizi yöntemleri kullanılarak kişi başına sera gazı emisyonu, kişi başına gelir, kişi başına elektrik tüketimi, elektrik üretiminin emisyon yoğunluğu, birincil enerji arzının emisyon yoğunluğu ve ekonominin emisyon yoğunluğu ölçütleri seçilmiştir. Analize yalnızca karbondioksit (CO₂) emisyonları değil, diğer sera gazları da dahil edilmiştir. Seçilen değişkenlerden kişi başına düzeyde ifade edilen ilk üçü, toplam sera gazı emisyon miktarını belirleyen ölçek değişkenleri iken birim aktivite düzeyinde ifade edilen yoğunluk değişkenleri, teknolojik değişkenler olarak kabul edilmiştir. Ölçek değişkenleri bakımından gelişmekte olan ülkelerin emisyonları gelişmiş ülkelere yakın olsa da teknolojik değişkenler bakımından gelişmekte ve gelişmiş üyeler arasında farkların olduğu ve farklı kümelerde yer aldıkları görülmektedir.

ABSTRACT

What exactly is understood from climate change mitigation? What should be the most appropriate climate indicator to measure the success of the determined goals and targets? What level of the selected climate indicator can keep climate change within acceptable limits? What kind of climate surprises may be encountered, and how can the economic, social and political implications of the selected climate target be harmonized with these factors? These are some of the questions needing to be answered while determining the political aims and objectives of combatting climate change. The international efforts that started with the United Nations Framework Convention on Climate Change in 1992 and concluded with the Paris Agreement in 2015 have made the goal of limiting the increase in global average temperatures to 1.5°C compared to the pre-Industrial level as the global standard of climate change policy. To achieve this goal, total greenhouse gas emissions must be reduced. The purpose of this study is to compare G20 members with each other using two different cluster analysis methods based on different emission criteria. For this purpose, per capita greenhouse gas emissions, per capita income, per capita electricity consumption, emission intensity of electricity production, emission intensity of primary energy supply, and emission intensity of the economy have been selected for use in the k-means cluster and hierarchical cluster analysis methods. In addition to carbon dioxide emissions, other greenhouse gases have also been included in the analysis. While the first three selected variables expressed at the per capita level are scale

Corresponding Author: Mutlu Tüzer E-mail: mutlutuzer@gmail.com

Submitted: 02.10.2023 • Accepted: 04.11.2023



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

variables that determine the total amount of greenhouse gas emissions, the intensity variables expressed at the unit activity level are considered technological variables. Although the emissions of developing countries are close to developed countries in terms of the scale variables, differences are seen to occur between developing and developed members in terms of technological variables and different clusters.

Anahtar Kelimeler: Küresel Isınma, İklim Değişikliği, Sera Gazı Emisyonları, Kümeleme Analizi, K-Ortalama Kümeleme Analizi, Hiyerarşik Kümeleme Analizi

Keywords: Global warming, climate change, carbon dioxide emissions, cluster analysis, k-means cluster analysis, hierarchical cluster analysis

EXTENDED SUMMARY

According to the conventional economic approach, global warming and climate change are analyzed based on externality in light of the benefit-cost principle. The problem is formulated as the relationship between marginal private benefit-cost and marginal social benefit-cost. Despite this relatively straightforward and theoretically understandable conventional formulation, global warming and climate change differ from other environmental problems previously encountered locally. For example, the distinction between greenhouse gas emissions (a flow variable) and greenhouse gas concentrations (a stock variable) is neglected in this economic analysis. Additionally, this fundamental economic analysis assumes that the damage caused by emissions is independent of time and emission source and that emissions have no effects outside the analyzed economy. Such difficulties inherent in global warming and climate change make determining the difference between private marginal benefit-cost and social marginal benefit-cost difficult, as well as expressing it monetarily.

Unlike the difficulties of economic analysis, a physical and ecological approach to the problem provides a clearer picture of what is happening to the target of mitigation. According to this approach, the social, economic, and ecological damage resulting from climate change are a positive function of human-induced greenhouse gas emissions and of the vulnerabilities of social and ecological systems toward climate change. If the aim is to solve the problem, either the thermal balance of the earth should be ensured by reducing the greenhouse gas emissions to a level compatible with natural cycles, or the fragility of social and ecological systems against climate change should be reduced. As a result of this formulation, the only rational solution to climate change is to reduce anthropogenic greenhouse gas emissions. The Impact = Population x Affluence x Technology (IPAT) identity used to express human activities' effects on the environment shows population, economic activity, and energy consumption to be the most critical variables determining human-induced greenhouse gas emissions. Accordingly, population growth, economic growth, greenhouse gas intensity of the energy system, and the economy are the most essential variables to focus on to reduce and break the link between human activities and greenhouse gas emissions.

Leaving the economic analysis difficulties aside and focusing on environmental impact variables, the picture regarding global warming and climate change is quite clear. In order to reduce human-induced greenhouse gas emissions, the energy efficiency of the economy must be increased, and a fundamental and rapid transformation must be carried out that results in a reduction of carbon intensity within the energy system. The environmental impact analysis shows fossil fuel-based economic growth to be the most critical problem to overcome in reducing greenhouse gas emissions. While significant gains have been made in reducing energy system-related carbon emissions thanks to the decrease in the energy intensity of the economy, as long as the energy system remains dependent on fossil fuels and continues to release carbon dioxide into the atmosphere, no net decrease will ever occur in the amount of carbon dioxide emissions. In addition, although global warming and climate change were initially formulated as a carbon problem caused by fossil fuels, the amount of energy use and emissions are not independent of per capita income, consumption, and welfare level.

This study aims to analyze G20 members using two basic cluster analysis methods based on different emission criteria. For this purpose, per capita greenhouse gas emissions, per capita income, per capita electricity consumption, emission intensity of electricity production, emission intensity of primary energy supply, and emission intensity of the economy have been selected. The study uses the k-means cluster and hierarchical cluster analysis methods within the program R. In R, the `get_dist` and `fviz_dist` functions within the `factoextra` package are used to calculate and visualize the distance matrix from the R packages.

The presence of more than one greenhouse gas with different sources and sinks that play a role in global warming poses a significant problem in density calculations based on greenhouse gases. Although global warming and climate change were initially formulated as a carbon problem caused by fossil fuels, energy use and emissions are not independent of per capita income, consumption, and welfare. To this end, the analysis has also included the other greenhouse gases. The first three variables are expressed at the per capita level. These variables can be seen as scale variables that determine total greenhouse gas emissions.

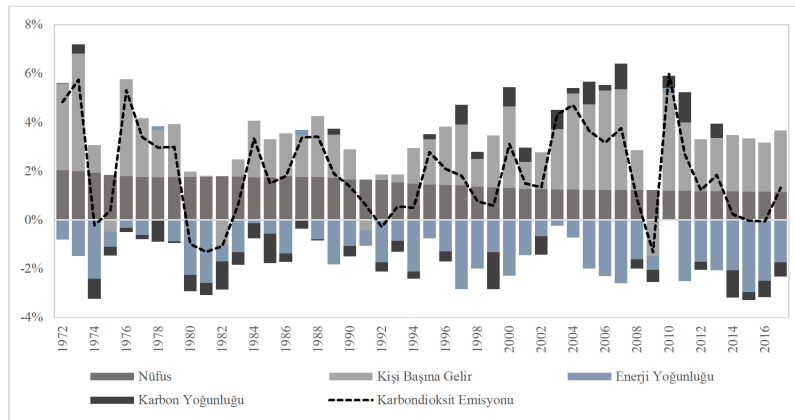
Meanwhile, the last three variables, which should be considered technological variables, are intensity variables expressed at the unit activity level. Although the emissions of developing countries are close to developed countries in terms of the scale variables, differences occur between developing and developed member countries in terms of technological variables and different clusters.

Giriş

Ekonomik açıdan küresel ısınma ve iklim değişikliği, mülkiyet haklarının belirlenip uygulanmadığı ortak bir kaynağın dışsallıklar nedeniyle optimum ve etkin olarak kullanılmaması dolayısıyla ortaya çıkan bir çevre problemi olarak tanımlanmaktadır (Stern, 2007: 27; Stern, 2015: 5; Nordhaus, 2013: 6; Tol, 2019: 50,51). Buna yaklaşıma göre, küresel ısınma ve iklim değişikliği, fayda-maliyet ilkesi ışığında dışsallık kavramı temelinde ele alınmakta ve marjinal özel fayda-maliyet ile marjinal sosyal fayda-maliyet arasındaki ilişkiye indirgenerek formüle edilmektedir. Teorik açıdan oldukça açık olan bu klasik formülasyona rağmen küresel ısınma ve iklim değişikliğini daha önce yerel ölçekte karşılaşılan çevre sorunlarından ayıran özellikleri bu çevre sorununu sınırları kolayca belirlenebilen, basit ve küçük ölçekli teknik bir çevre problemi olmaktan çıkarmaktadır.

Sorunu, anlaşılması çok da güç olmayan bir formülasyona indirgeyen bu klasik ekonomik analizin önemli bir dizi varsayımlar altında yapıldığı gözden kaçırılmamalıdır. Örneğin, sera gazı emisyonları üzerine yapılan bu analizde, bir akım değişken olan sera gazı emisyonları ile bir stok değişkeni olan sera gazı yoğunlukları arasındaki ayırım ihmal edilmektedir. Ayrıca emisyonlar sebebiyle ortaya çıkan zararın, zaman ve emisyon kaynağından bağımsız olduğu ve emisyonların analiz edilen ekonomi dışındaki etkileri olmadığı varsayılmaktadır. Ayrıca iklim sistemini oluşturan bileşenler arasındaki ilişkiler doğrusal bir neden-sonuç zincirinden çok karşılıklı ve döngüsel bir nitelik arz etmektedir. İnsan kaynaklı sera gazlarının atmosferde oluşturduğu anlık ısıtma etkisi (anlık ışımsal zorlama) ile iklim sistemi bileşenlerinin ısıl dengeye gelmesi sonucunda oluşan ısıtma etkisi (efektif ışımsal zorlama) arasında bir fark bulunmaktadır (IPCC, 2013: 664). Tüm bu varsayımlar, özel marjinal fayda-maliyet ile sosyal marjinal fayda-maliyet arasındaki farkın tespit edilerek parasal olarak ifade edilmesini zorlaştırmaktadır. İklim zorlayıcılarının kolektif ve kümülatif etkileri, fiziksel iklim sisteminin karmaşıklığı ve değişik zaman ölçeklerine sahip geri bildirim döngüleri gibi faktörler, mücadele hedefleri ve değerlendirme ölçütleriyle ilgili pozitif ve normatif boyutları bulunan çok sayıda sorunun ön plana çıkmasına neden olmaktadır (USGCRP, 2017: 76). Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin içerdiği analiz zorlukları özel marjinal fayda-maliyet ile sosyal marjinal fayda-maliyet arasındaki farkın tespit edilerek parasal olarak ifade edilmesini zorlaştırmaktadır.

Ekonomik analiz zorluklarından farklı olarak soruna fiziksel ve ekolojik yönden yaklaşıldığında mücadele hedefi konusunda pratik açıdan daha net bir tablo ortaya konulduğu iddia edilebilir. Bu formülasyona göre, iklim değişikliğinden kaynaklanan sosyal, ekonomik ve ekolojik zararlar, insan kaynaklı sera gazı emisyonları sebebiyle oluşan iklim değişikliği ile sosyal ve ekolojik sistemlerin iklim değişikliği karşısındaki kırılganlıklarının pozitif bir fonksiyonudur. Bu formülasyonda, yeryüzü iklimindeki doğal denge öncelikle yeryüzünün enerji bütçesi, sera gazı döngüleri gibi değişkenlere dayalı olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım esas alındığında, iklim değişikliği biliminden iklim değişikliği politikasına geçiş oldukça kısa ve net olmalıdır. Problemin çözümü hedefleniyorsa ya iklim değişikliğine yol açan sera gazı emisyonları doğal döngülere uygun limitlere çekilerek yeryüzünün ısı dengesi sağlanmalı ya da sosyal ve ekolojik sistemlerin iklim değişikliği karşısındaki kırılganlıkları azaltılmalıdır (Rahmstorf ve Schellnhuber, 2020: 99,100).



Kaynak: (IEA, 2019'dan yararlanılarak hazırlanmıştır.)

Şekil 1. Çevresel Etki Denkliği Bileşenleri ve Yıllık Değişim Oranları (1971-2017)

Beşerî faaliyetlerin tabiat üzerindeki etkilerini ifade edebilmek amacıyla kullanılan “çevresel etki denkliği”, nüfus, ekonomik faaliyet ve enerji tüketiminin insan kaynaklı sera gazı emisyonlarını belirleyen en önemli değişkenler olduğunu göstermektedir. Buna göre, beşerî faaliyetlerle sera gazı emisyonları arasındaki bağlantının azaltılması ve koparılması konusunda odaklanılması gereken en önemli değişkenler olarak nüfus artışı, ekonomik büyüme, enerji sisteminin ve ekonominin sera gazı yoğunluğu ön plana çıkmaktadır (Erllich ve Holdren, 1971: 1213-1217; Stern, 2007: 203; Tol, 2019: 19). Söz konusu analiz zorlukları bir kenara bırakılarak çevresel etki değişkenlerine odaklanıldığında küresel ısınma ve iklim değişikliği ile ilgili tablo oldukça nettir: İnsan

kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılması yolunda ekonominin enerji verimliliği artırılmalı ve enerji sistemindeki karbon yoğunluğunun azaltılmasıyla sonuçlanan temel ve hızlı bir dönüşüm gerçekleştirilmelidir. Bu tip bir dönüşüm, sosyo-ekonomik sistemin ekolojik limitler içinde kalabilmesinin en önemli koşulu olarak ileri sürülen ekoloji ve çevre ekonomisi literatüründe basitçe “ayırışma” ya da “kopma” kavramlarıyla ifade edilmektedir. Ekonomik faaliyetlerin ekolojik etki yoğunluğunun görece ve mutlak olarak düşürülmesinin, ayırışma açısından ön plana çıkan en önemli tartışma konusu olduğunu söylemek mümkündür. Ayırışma kavramı insan kaynaklı sera gazı emisyonları açısından tanımlanacak olursa, “görece ayırışma” basitçe ekonomik çıktı başına atmosfere bırakılan sera gazı miktarının düşürülmesi, “mutlak ayırışma” ise ekonomik çıktı artarken toplam sera gazı emisyon miktarının azaltılmasıdır (Jackson, 2009: 68-71).

Sera gazı emisyonlarındaki artışın tersine çevrilmesi açısından iki kritik aşamayı temsil eden görece ve mutlak ayırışmayı çevresel etki denklemini oluşturan bileşenlerdeki yıllık büyüme oranlarındaki değişimlerin verildiği Grafik 1 üzerinden değerlendirmek mümkündür. Grafikte nüfus, kişi başına milli gelir, enerji sisteminin karbon yoğunluğu ve ekonominin karbon yoğunluğundaki 1927-2017 yılındaki yıllık değişim oranları hesaplanmıştır. Enerji sisteminde fosil yakıt kaynaklı karbondioksit emisyon verilerine dayalı olarak hazırlanan grafikte görüldüğü gibi toplam emisyonlardaki artışı tersine çevirebilmek için ekonominin enerji ve enerji sisteminin karbon yoğunluğunun azaltılması gerekmektedir. Grafikte küresel nüfus artışında aşağı yönlü bir eğilim dikkati çekmektedir. Bu aşağı yönlü eğilim yanında nüfusun büyüme oranındaki değişim görece olarak daha az değişkenlik sergilemektedir. Grafikte yer alan milli gelir kalemi satın alma gücü paritesine göre hesaplanan kişi başına milli geliri, karbondioksit ise fosil yakıt kaynaklı toplam karbondioksit emisyonlarını temsil etmektedir. Görüldüğü gibi, giderek azalan bir oranda da olsa nüfus bileşeninde istikrarlı bir artış eğilimi bulunmaktadır. Enerji yoğunluğunda ise nüfustaki büyüme oranına benzer bir negatif büyüme yani azalma oranı göze çarpmaktadır. Analiz edilen dönem içinde nüfustaki ortalama artış oranı %1,5 iken, enerji yoğunluğundaki düşüş oranı %1,4’tür.

Grafik 1’de küresel ısınma ve iklim değişikliği açısından en problemlili bileşen olarak enerji sisteminin karbon yoğunluğu, yani birim enerji başına ortaya çıkan karbondioksit miktarının öne çıktığı görülmektedir. 1971-2017 yılları arasında kullanılan fosil yakıt kaynaklı enerjinin karbon yoğunluğundaki azalma miktarı, dönemin tamamında ancak %7 düzeyinde kalmıştır. Grafik 1’de de görüldüğü gibi, 2000’li yılların başında enerji sisteminde karbon yoğunluğundaki düşüş yerine, 2003 yılından başlayarak 2008 yılında yaşanan finansal krize kadar (2003, 2004, 2005, 2006 ve 2007 yılları) artış ortaya çıkmıştır. Grafik 1, sera gazı emisyonlarındaki artışın önüne geçilmesi ve sonrasında emisyonların azaltılmasının, ekonomik faaliyetlerin sera gazı yoğunluğunun görece ve mutlak anlamda düşürülmesine bağlı olduğunu göstermektedir. Bu noktada fosil yakıtlara dayalı bir enerji sisteminin, sera gazı emisyonlarının azaltılmasının önündeki en önemli engellerden biri olduğu kabul edilmelidir. Ekonomik büyüme ve kişi başına milli gelir artışı sürerken ekonominin enerji yoğunluğundaki düşüş sayesinde, enerji sistemi kaynaklı karbon emisyonlarının azaltılması yolunda önemli kazanımlar elde ediliyor olsa da enerji sistemi fosil yakıtlara bağlı kaldığı ve atmosfere karbondioksit bırakmaya devam ettiği müddetçe, genel olarak toplam sera gazı özel olarak da enerji kaynaklı karbondioksit emisyon miktarında mutlak anlamda bir azalışın ortaya çıkmayacağı açıktır. Bu noktada, fosil yakıtlara dayalı bir enerji sisteminden sera gazı ve karbon nötr bir enerji sistemine geçişi mümkün kılacak enerji teknolojileri ön plana çıkmaktadır. Sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından “fosilsizleşme” ile “karbonsuzlaşma” süreçlerinin birbirlerinden farklı olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Fosilsizleşme, kömür, doğal gaz ve petrol gibi fosil bazlı yakıtların enerji sistemi içindeki paylarının azaltılması iken; karbonsuzlaşma, enerji sistemi içinde karbon nötr enerji kaynaklarının paylarının artırılarak atmosfere bırakılan karbondioksit emisyonlarının azaltılmasıdır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, ilk adımda fosil yakıt kaynaklı bir karbon problemi olarak formüle edilse de enerji kullanımı ve emisyon miktarı kişi başına gelir, tüketim ve refah düzeyinden bağımsız değildir. Enerji talebini etkileyen, ekonomik faaliyetlerin sektörel dağılımı ya da tüketimin bileşimi de oldukça önemlidir. Çelik, kâğıt, çimento, cam gibi önemli girdilerin yoğun olduğu sektörlerin enerji ihtiyaçları ve karbon yoğunlukları, hizmet sektörlerine göre daha yüksektir. Dana eti ve pirincin ağırlıklı olduğu bir diyet, koyun eti ve buğdaya göre daha fazla metan (CH₄) salınımına yol açmaktadır. Birincil enerji arz miktarı yanında kaynak dağılımı, nihai enerji kullanımı, elektrik ve hidrojen gibi enerji taşıyıcılarının oynadıkları rol de önemlidir. Örneğin, doğal gaz, kömür ve petrole göre daha az karbondioksit salınımına neden olan bir fosil yakıttır. Ulaşım sektöründeki elektrifikasyon seviyesi arttıkça, sıvı yakıtlara dayalı bir ulaşım sistemine göre emisyon indirimleri daha kolay başarılabilmektedir (Tol, 2014: 20,21).

Sera gazları ile ilgili yapılan hesaplamalarda, küresel ısınma sürecinde rol oynayan kaynak ve yutakları farklı birden fazla sera gazının varlığı, sera gazlarına dayalı olarak yapılan yoğunluk hesaplamalarında önemli bir sorun teşkil etmektedir. Sera etkisine neden olan gazların atmosfere salınmasına neden olan ekonomik faaliyetler farklı olduğu gibi bu gazların atmosferde maruz kaldıkları kimyasal, fiziksel ve biyolojik süreçler de farklıdır. Örneğin kararlı bir molekül yapısına sahip karbondioksit, atmosferde uzun süre kalırken, metan atmosfere girdikten sonra karbondioksit gibi başka bileşenlere dönüşmektedir. Bu durum, sera gazı emisyon ve atmosfer yoğunluklarının ölçülerek raporlanması açısından önemli bir problem teşkil etmektedir. İklim değişikliği biliminde, sera gazlarının bütün olarak düşünülmesi ve hepsinin tek bir standart birim ile ifade edilmesi yöntemi kullanılmaktadır. Farklı sera gazlarının küresel ısıtmaya olan katkılarını da temsil eden küresel ısıtma potansiyeli, bu dönüşümün gerçekleştirilmesini sağlayan ölçütlerden biridir. Bu yöntemin kullanılması ile altı önemli sera gazının [CO₂, CH₄, N₂O, PFCS (perflorokarbonlar), HFCS (hidroflorokarbonlar), SF₂ (sülfürhekzaflorid)] toplam emisyon miktarı tek bir toplam olarak yani karbondioksit eşdeğeri

Tablo 1. Sera Gazlarının Atmosferik Ömürleri ve Küresel Isıtma Potansiyelleri

Kyoto Gazları	Fiziksel Özellikleri		Toplam Emisyonlardaki Küresel Isıtma Potansiyeli Ağırlıklı Payları			
	Atmosferik Ömür	Isınmsal Zorlama (W/m ² /ppb)	İkinci Değerlendirme Raporu 100 Yıl	HİDP Değerlendirme Raporları (20 ve 100 Yıl Beşinci&500 Yıl Dördüncü Değerlendirme Raporuna Göre)		
				20 Yıl	100 Yıl	500 Yıl
CO ₂	Değişken	1,37x10 ⁻⁵	%76	%52	%73	%88
CH ₄	12,4	3,63x10 ⁻⁴	%16	%42	%20	%7
N ₂ O	121	3,00x10 ⁻³	%6,2	%3,6	%5,0	%3,5
F-Gazları:			%2,0	%2,3	%2,2	%1,2
HFC-134a	13,4	0,16	%0,5	%0,9	%0,4	%0,2
HFC-23	222	0,18	%0,4	%0,3	%0,4	%0,5
CF ₄	50 000	0,09	%0,1	%0,1	%0,1	%0,2
SF ₆	3 200	0,57	%0,3	%0,2	%0,3	%0,5
NF ₃	500	0,20	-	%0,0	%0,0	%0,0
Diğer F-Gazları	çeşitli	çeşitli	%0,7	%0,9	%0,9	%0,9

Kaynak: (IPCC, 2014: 124'ten yararlanılarak hazırlanmıştır.)

birimi ile ifade edilebilmektedir. Tüm sera gazları dikkate alındığında, birim karbondioksit eşdeğeri (CO_{2es}) birimi ile ifade edilmektedir. Kişi başına milli gelir ve ekonominin emisyon yoğunluğu hesaplamaları için satın alma gücü paritesi kullanılmıştır. Teknik olarak küresel ısıtma potansiyeli, atmosfere salınan bir sera gazının 1 kilogram (kg)'ının, 1 kg'lık karbondioksit oranla zamana bağlı olarak neden olduğu ısıtma etkisidir. Başka bir ifadeyle küresel ısıtma potansiyeli, bir sera gazının birim kütle başına karbondioksit oranla küresel ısınmaya ne kadar katkı yaptığını göstermektedir (IPCC, 1990: 48).

Tablo 1'de temel sera gazlarının küresel ısıtma potansiyelleri yer almaktadır. Üç temel sera gazının yanında hidro ve perflorokarbon grubu olan çok sayıda endüstriyel bileşen F-Gazları ana başlığı altında yer almaktadır. Tablonun en altında yer alan Nitrojen triflorit başlangıçta Kyoto Protokol'üne dahil olmayan, ancak daha sonra insan kaynaklı sera gazlarının içine dahil edilen bir sera gazıdır. Tabloda da görüldüğü gibi, sera gazlarının küresel ısıtma potansiyelleri karbondioksit ve zamana göre değişmektedir. Buna göre, 1 kg metanın küresel ısıtma potansiyeli 100 yıllık zaman ölçeğinde karbondioksitin 25, 500 yıllık zaman ölçeğinde ise 7,6 katıdır. Diazotoksit ise 100 yıllık süre içinde karbondioksit göre kütle bazında 298 misli daha etkili bir sera gazıdır. Sera gazlarının molekül bazındaki etkileri ile atmosferdeki toplam miktarlarının yol açtığı etki arasında da bir fark bulunmaktadır. Toplam ısıtma etkisi açısından en önemli sera gazları olan karbondioksit, metan ve azotdioksitin molekül bazındaki ısıtma etkileri aslında oldukça küçüktür. Buna karşın F-Gazlarının molekül bazında anlık ısıtma etkileri, ortalama olarak çok daha fazladır. Bir karbondioksit molekülünün ısıtma etkisi metrekaare başına yalnızca 1,37x10⁻⁵ W iken; HFC-134a gazının ısıtma etkisi 0,16 W'lık değeri ile karbondioksitin yaklaşık 11.679 katıdır.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadelede kullanılacak ekonomik yöntem ve araçların yukarıda sıralanan faktörlerden etkilendiği ve mücadele politikalarının bu faktörler dikkate alınarak oluşturulması ve uygulanması gerektiği kabul edilmelidir. Örneğin, ekonomik açıdan küresel ısınma ve iklim değişikliği, küresel düzeyde ortaya çıkan bir dışsallıktır. Problemin küresel ölçeği dikkate alındığında, mücadele konusunda ihtiyaç duyulan hukuki, ekonomik ve politik kurumların ya da bağlantılı karar süreçlerinin daha önce yerel, bölgesel ve ulusal düzeyde karşılaşılan çevre problemlerinden farklı olması gerektiği açıktır. Her problemin ölçeğine uygun seviyede ele alınması gereği küresel ısınma ve iklim değişikliği konusunda uluslararası düzeyde bir işbirliğini de zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle iklim değişikliği ile mücadele politikaları, ülke içinden uluslararası düzeye doğru uzanan ve iki yönde işleyen bir hiyerarşi içinde şekillenmektedir (Nordhaus, 2021: 50,51).

Metodoloji ve Veri Seti

Temel bileşenler analizi, gereksiz değişkenleri bir arada gruplayarak birçok değişken içeren verilerdeki kalıpların görselleştirilmesi ve tanımlanması için kullanılmaktadır. Benzer şekilde kümeleme, veri ve gözlemlerin birbirleri arasındaki benzerliğe göre gözetimsiz olarak gruplandırılmasını sağlayan yöntemler için kullanılan genel bir terimdir. Yapılan analizde, bir veri seti içindeki gözlem ya da değişkenlerin alt grupları tespit edilmeye çalışılmaktadır. Veri seti içindeki değişkenler kümelendiğinde, aynı küme içinde yer alan değişkenlerin birbirlerine benzer olması ve farklı kümelerde yer alan değişkenlerinse farklı olması beklenmektedir. Yapılan analizde, değişkenler arasındaki ilişkiler bulunmaya çalışıldığı ve bir yanıt değişkeni olmadığı için kümeleme analizi gözetimsiz ya da denetimsiz bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Yapılan n sayıdaki gözlem arasındaki benzerliklerin bir yanıt değişkeni tarafından eğitilmeden bulunmasıdır. Kümeleme, hangi gözlemlerin benzer olduğunun belirlenmesine ve potansiyel olarak bu gözlemlerin kategorilere ayrılmasına yardımcı olmaktadır. K-ortalama kümeleme analizi ise bir veri setinin k sayıdaki grup ya da kümeye bölünmesi için kullanılan en temel kümeleme yöntemidir.

Gözlemlerin gruplar halinde sınıflandırılması için her bir gözlem çifti arasındaki mesafenin veya benzemezliğin (farklılığın) hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamaların sonucu, farklılık veya mesafe matrisi olarak bilinir. Bu mesafe bilgisini hesaplamının birçok yöntemi bulunmaktadır. Mesafe ölçülerinin seçimi, kümelemede kritik bir adımdır. Mesafe ölçüleri iki ögenin (x,y) arasındaki benzerliğin nasıl hesaplandığını tanımlamakta; dolayısıyla kümelerin şeklini etkilemektedir. İki ögenin (x,y) benzerliğinin nasıl hesaplandığını tanımlayan ve kümelerin şeklini etkileyen uzaklık ölçülerinin seçimi kümelemede kritik bir adımdır. Mesafe ölçümleri için, (1) *Öklid Mesafe* ve (2) *Manhattan Mesafe* olmak üzere iki yöntem bulunmaktadır.

Öklid Mesafe:

$$d_{euc}(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

Manhattan Mesafe:

$$d_{man}(x, y) = \sum_{i=1}^n |(x_i - y_i)| \quad (2)$$

x,y , uzunlukları n olan iki vektörü temsil etmektedir.

Veri analizleri için yaygın olarak kullanılan korelasyona dayalı mesafeler gibi başka farklılık ölçümleri de bulunmaktadır. Korelasyona dayalı mesafe ölçüleri korelasyon katsayısının 1'den çıkarılmasıyla hesaplanmaktadır. (1) *Pearson Korelasyon Mesafe*, (2) *Spearman Korelasyon Mesafe* ve (3) *Kendall Korelasyon Mesafe* korelasyon mesafe ölçüm yöntemleri arasında yer almaktadır. Kümeleme analizi sonuçları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu için hangi mesafe ölçüm yöntemine ilişkin tercih önemlidir. Kümeleme yazılımları içinde, genellikle varsayılan mesafe ölçüsü olarak Öklid Mesafesi seçilmektedir. Bununla birlikte, verilerin türüne ve araştırma sorularına bağlı olarak, diğer farklılık ölçütleri de tercih edilebilmektedir.

R programında, R paketlerinden mesafe matrisinin hesaplanması ve görselleştirilmesi için *factoextra* isimli paket içindeki *get_dist* ve *fviz_dist* fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar, hangi gözlemlerin oldukça benzer görünenlere karşı büyük farklılıklara sahip olduğunu göstermektedir. R yazılım programı k-ortalama ve hiyerarşik kümeleme analizlerinin beraber kullanılması olanağı sağlamaktadır. R programı içinde buluna *factoextra* paketi içinde bulunan *hkmeans()* fonksiyonu hiyerarşik kümeleme ve k-ortalama yöntemlerinin birleştirilerek hibrit bir çözüm sunmaktadır.

get_dist fonksiyonu bir veri matrisinin satırları arasındaki mesafe matrisini Öklid Mesafe ölçüsüne göre hesaplamaktadır.

fviz_dist fonksiyonu ise hesaplanan mesafe matrisini görselleştirmektedir.

K-ortalama Kümeleme Analizi, belirli bir veri kümesini k sayıda kümeye bölmek için yaygın biçimde kullanılan denetimsiz makine öğrenimi algoritmasıdır. Küme sayısını temsil eden k'nın analiz öncesinde belirlenmesi gerekmektedir. Veri setini oluşturan gözlemlerin, aynı küme içindeki gözlemlerin olabildiğince benzer (yani, yüksek sınıf içi benzerlik), farklı kümelerden gelen gözlemlerin ise olabildiğince farklı olacak şekilde (düşük in sınıflar arası benzerlik) kümelenebilir. K-ortalama kümeleme analizinde, her küme, kümeye atanan noktaların ortalamasına karşılık gelen merkezi (yani merkez) tarafından temsil edilmektedir. K-ortalama kümelemenin arkasında yatan temel düşünce, kümelerin tanımlanmasından oluşmaktadır. Bu şekilde toplam küme içi varyasyon ya da değişkenliğinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Birkaç k-ortalama algoritması mevcuttur. Hartigan-Wong (1979) algoritması en yaygın kümeleme algoritmasıdır. Bu algoritmada toplam küme içi varyasyonu, ögeler ve karşılık gelen ağırlık merkezi arasındaki Öklid mesafelerinin karesi alınmış mesafelerin toplamı olarak tanımlanmaktadır:

$$W(C_k) = \sum_{x_i \in C_k} (x_i - \mu_k)^2 \quad (3)$$

x_i C_k kümesi içindeki veri noktasını,

μ_k ise C_k kümesi içindeki ortalama değeri temsil etmektedir.

Her gözlem (x_i) belirli bir kümeye, gözlemin atanmış küme merkezlerine (μ_k) olan kareler toplamı (SS) uzaklıklarını minimize edilecek şekilde atanmaktadır. Toplam küme içi varyasyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$tot.withness = \sum_{k=1}^k W(C_k) = \sum_{k=1}^k \sum_{x_i \in C_k} (x_i - \mu_k)^2 \quad (4)$$

Kümelemenin kompaktlığını yani iyiliğini ölçen küme içi toplam kare toplamının mümkün olduğu kadar küçük olması arzu edilmektedir.

Tablo 2. Analizde Kullanılan Veriler

Ülkeler	Kişi Başı Emisyon (Ton CO ₂ -es)	Kişi Başı Milli Gelir (\$)	Kişi Başı Elektrik Tüketimi (kWh)	Elektrik Üretim Emisyon Yoğunluğu (grCO ₂ /kWh)	Birincil Enerji Emisyon Yoğunluğu (TJ/milyon \$)	Ekonominin Emisyon Yoğunluğu (Ton/Bin \$)
Arjantin (AR)	8,9	10076	3075	385	4,2	0,881
Avustralya (AU)	24	54875	10071	735	47	0,437
Brezilya (BR)	6,9	8876	2611	160	4,0	0,775
Kanada (CA)	20,6	46329	15588	149	7,4	0,444
Çin (CH)	8,6	10144	3905	683	6,0	0,844
Almanya (DE)	8,7	46795	7035	474	3,4	0,185
Avrupa Birliği (EU)	7	35089	6022	315	3,6	0,201
Fransa (FR)	5,2	40579	6940	43	3,9	0,129
Hindistan (ID)	7,2	4135	808	741	34	1,751
Endonezya (IN)	2,5	2072	797	808	4,2	1,188
İtalya (IT)	6,3	33673	5002	331	2,9	0,187
Japonya (JP)	9,0	40458	7820	554	3,6	0,221
Güney Kore (KR)	12,6	31902	10497	517	6,3	0,395
Meksika (MEX)	5,3	9950	2186	464	3,3	0,528
Rusya (RU)	13,3	11725	6603	385	8,2	1,137
Suudi Arabistan (SA)	21,1	23451	9048	711	5,4	0,900
Türkiye (TR)	5,5	9122	2815	498	3,0	0,604
Birleşik Krallık (UK)	6,4	43070	5130	414	2,7	0,149
ABD (US)	17,6	65095	12994	486	5,0	0,270
Güney Afrika (ZA)	9,6	6625	4184	1002	7,8	1,449

Kaynak: (CAT, 2023; CW, 2023; WB, 2023'ten yararlanılarak hazırlanmıştır.)

K-ortalama kümeleme analizinde ilk adım, nihai çözümde üretilecek küme sayısının (k) belirtilmesidir. Algoritma, hesaplama küme için ilk merkezleri oluşturacak veri kümesinden rastgele k adet nesne seçerek başlar. Seçilen nesnelere aynı zamanda küme araçları ya da "ağırlık merkezleri" olarak adlandırılmaktadır. Daha sonra, kalan nesnelere her biri, en yakın merkezine atanmaktadır. Burada en yakın merkez, nesne ile küme ortalaması arasında Denklem 1'de verilen Öklid mesafesi kullanılarak tanımlanır. Bu adıma "küme atama adımı" denir. Bu adımdan sonra, algoritma tarafından her kümenin yeni ortalama değeri hesaplanmaktadır. Bu adım "küme ağırlık merkezi güncellemesi" olarak adlandırılmaktadır. Küme merkezleri güncellenerek yeniden hesaplandığında, her gözlemin farklı bir kümeyle daha yakın olup olmadığına görülmesi için her gözlem yeniden kontrol edilir. Sonrasında tüm nesnelere, güncellenmiş küme araçları kullanılarak yeniden atanır. Küme atama ve küme ağırlık merkezleri için güncelleme adımları, küme atamalarında değişme durana kadar yinelemeli olarak tekrarlanmaktadır. Küme atamalarının durması küme içindeki nesnelere birbirlerine yakınsadığı anlamına gelmektedir. Küme içindeki nesnelere birbirlerine mümkün olduğunca yakınsadığı noktada artık mevcut yinelemede oluşturulan kümeler önceki yinelemede elde edilen kümelerle aynı olacaktır.

K-ortalama kümeleme algoritmasını oluşturan adımlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Oluşturulacak küme sayısının (k) analist tarafından belirlenmesi.
2. İlk küme merkezleri veya araçları olarak veri kümesinden rastgele k nesne seçilmesi.
3. Nesne ile ağırlık merkezi arasındaki Öklid mesafesi ölçüm yöntemine bağlı olarak her gözlemin en yakın merkez noktasına atanması.
4. k adet kümenin her biri için, kümedeki tüm veri noktalarının yeni ortalama değerlerinin hesaplanarak küme ağırlık merkezlerinin güncellenmesi. Bir kümenin ağırlık merkezi, o kümedeki gözlemler için tüm değişkenlerin ortalamasını içeren p uzunluğunda bir vektördür ve p değişken sayısıdır.
5. Toplamı kareler toplamı içinde yinelemeli olarak Denklem 7'deki formül kullanılarak en aza indirilmesi. Küme atamaları değişmeyi bırakana veya maksimum yineleme sayısına ulaşılan kadar 3. ve 4. adımların tekrarlanması. R yazılımında maksimum yineleme sayısı olarak 10 kullanılmaktadır.

Kümeleme analizlerinde k-ortalama kümeleme yanında kullanılan diğer bir yöntem hiyerarşik kümeleme analizidir. K-ortalama kümeleme analizinde küme sayısının önceden analizci tarafından belirtilmesi gerekmektedir. Optimum küme sayısının bulunma ya da saptanması gerekliliği k-ortalama kümeleme analizlerinin bir dezavantajı olarak görülebilir. Hiyerarşik kümeleme analizlerinde

kümeler aşağıdan yukarıya bir hiyerarşi içinde oluşturulmaktadır. Bu yüzden hiyerarşik kümeleme analizi önceden küme sayısını belirtilmesini gerektirmeyen alternatif bir yaklaşımdır. İki yaklaşımın da bazı dezavantajları bulunduğunu söylemek mümkündür. K-ortalama kümeleme, kullanıcının önceden küme sayısını belirlemesini ve başlangıç merkez noktalarını rastgele seçmesini gerektirir. Buna karşın hiyerarşik kümeleme, küçük kümeleri belirlemede iyidir, ancak büyük kümeleri tanımlamaz. Hiyerarşik kümeleme analizi algoritmasının adımları aşağıdaki şekildedir:

1. Her veri noktası kendi kümesine yerleştirilir.
2. En yakın iki küme belirlenir ve bunlar bir kümede birleştirilir.
3. Tüm veri noktaları tek bir kümede olana kadar yukarıdaki adımlar tekrarlanır.

Kümeleme analizinde Tablo 1’de verilen ve G20 üyelerinin verilerinin çevresel etki denkliliğini hesaplamalarında kullanılan altı temel bileşen seçilmiştir. Kişi başına düzeyde ifade edilen ilk üç değişken ölçek değişkenleri, birim faaliyet başına ifade edilen diğer yoğunluk değişkenleri ise teknolojik değişkenler olarak değerlendirilebilir. Analize dahil edilen ilk üç değişken, ülkelerin toplam sera gazı emisyonları, toplam milli gelir ve toplam elektrik tüketim miktarlarının kişi başına düzeyde ifade edilmesine olanak sağlamakta; dolayısıyla ülkeler arasında var olan ölçek farklılıklarının elimine edilmesine yardımcı olmaktadır. Elektrik üretiminin emisyon yoğunluğu, birincil enerji tüketiminin emisyon yoğunluğu ve ekonominin emisyon yoğunluğu değişkenleri ise birim faaliyet başına ortaya çıkan emisyon miktarlarının ifade edilmesine olanak sağlamaktadır. Kişi başına emisyon, birincil enerji emisyon yoğunluğu ve ekonomini emisyon yoğunluğu değişkenlerinin hesaplanması için tüm sera gazları, elektrik üretim emisyon yoğunluğu için karbondioksit dikkate alınmıştır.

Tablo 3. G20 Üyeleri Çevresel Etki Bileşeni Büyüklükleri

Ülkeler	Nüfus (Milyon)	GSYH (Milyar \$)	Sera Gazı (Milyar Ton)	Birincil Enerji (EJ)
AR	45	453	399	3
AU	25	1392	608	6
BR	211	1873	1452	12
CA	38	1742	774	14
CN	1408	14280	12055	142
DE	83	3888	720	13
FR	67	2729	352	10
ID	271	1119	1960	9
IN	1366	2832	3364	34
IT	60	2011	376	6
JP	127	5123	1134	19
KR	52	1651	0	12
MEX	128	1269	671	8
RU	144	1693	1925	30
SA	34	804	723	11
TR	83	761	460	6
UK	67	2879	429	8
US	328	21373	5771	95
ZAF	59	388	562	5
Dünya	7684	87653	49758	584
G20 Payı	%59,8	%77,9	%67,8	%76,1
Diğer Ülkeler	%40,2	%22,1	%32,2	%23,9

Not: AB bir bütün olarak G20 payı hesaplamasına dâhil edilmemiştir.

Tablo 3’te G20 üye ülkelerinin nüfus, ekonomik, enerji ve sera gazı yıllık sera gazı emisyonları açısından dünya toplamı içindeki yeri verilmektedir. G20 üyelerinin toplam nüfusu, dünya nüfusunun yaklaşık %60’ına, milli hasılası dünya milli hasılasının %78’ine, yıllık sera gazı emisyonları toplamı dünya toplamının %68’ine ve birincil enerji tüketimi dünya toplamının %77’sine ulaşmaktadır. Dünya toplamı açısından G20 ülkelerinin iyi bir örnek teşkil etmektedir. G20 üyeleri arasında ABD, Kanada, Birleşik Krallık, Fransa, Almanya, İtalya, Japonya aynı zaman gelişmiş ülkeler grubu olarak tanımlanan G7 grubunu oluşturmaktadır. Brezilya, Güney Afrika, Rusya ve Çin BRIC grubu içinde yer almaktadır.

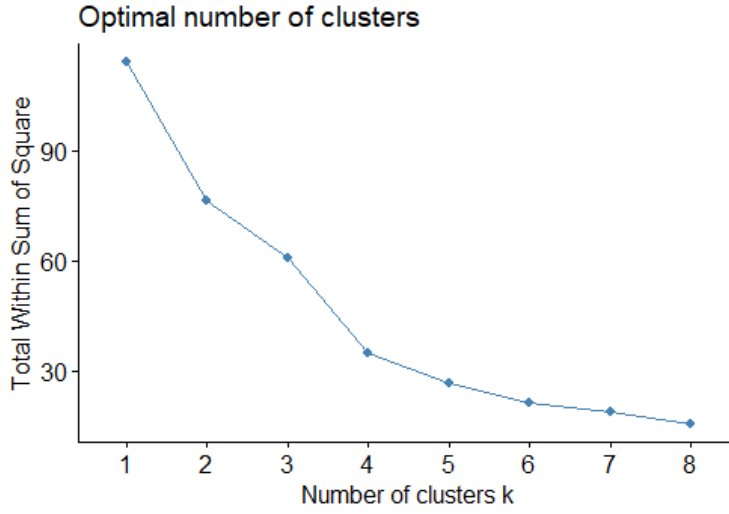
Tablo 4. G20 Üyelerinin Buldukları Kıtalar ve Uluslararası Kısaltmaları

Kuzey Amerika	Güney Amerika	Avrupa	Afrika	Asya	Okyanusya
Kanada (CA)	Arjantin (AR)	Almanya (DE)	Güney Afrika (ZA)	Çin (CN)	Avustralya (AU)
ABD (US)	Brezilya (BR)	Birleşik Krallık (UK)		Güney Kore (KR)	
Meksika (MEX)		Fransa (FR)		Endonezya (ID)	
		İtalya (IT)		Hindistan (IN)	
		Rusya (RU)		Japonya (JP)	
		Türkiye (TR)			

Tablo 4'te analize dâhil edilen G20 üye ülkelerinin buldukları kıtalar uluslararası kısaltmaları ile birlikte verilmektedir. G20 üye ülkelerinin farklı kıtalarda yer almaları iklim değışikliğinin küresel niteliği dikkate alındığında problemin coğrafi ölçeği için uygun bir örneklem olanağı da sunmaktadır.

Analiz ve Bulgular

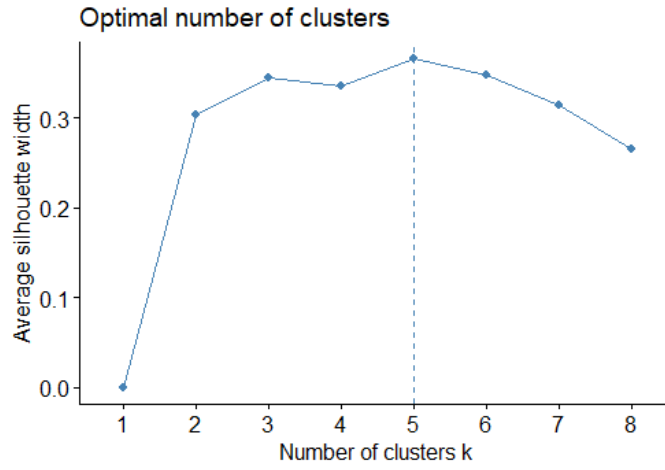
Kümeleme analizlerinde, optimum küme sayısının bulunması için farklı temel olarak üç adet yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; (1) dirsek yöntemi, (2) silüet yöntemi ve (3) açıklık istatistiği yöntemidir. Grafik 2, Grafik 3 ve Grafik 4'te üç farklı yöntemle göre hesaplanan optimum küme sayısı sonuçları verilmektedir. Analize dahil edilen veriler için dirsek yöntemine göre optimum küme sayısı dört veya beş; silüet yöntemine göre beş; açıklık istatistiği yöntemine göre ise iki veya altı olduğunu ifade etmek mümkündür.

**Şekil 2.** Dirsek Yöntemine Göre Optimum Küme Sayısı**Tablo 5.** Kümeleme Analizi Vektörü

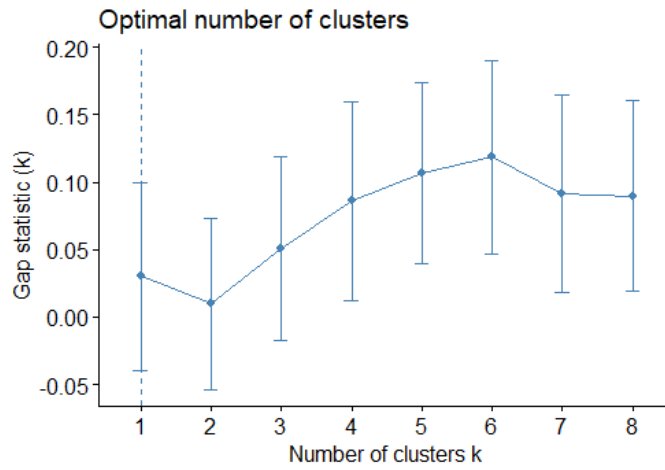
AR	AU	BR	CA	CH	DE	EU	FR	ID	IN	IT	JP	KR	MEX	RU	SA	TR	UK	US	ZA
1	2	1	2	3	4	4	4	5	5	4	4	2	1	3	2	1	4	2	3

Tablo 5'te analiz vektöründe görüldüğü gibi, üyeler dört kümede toplanmaktadır. Buna göre; Arjantin, Brezilya, Meksika ve Türkiye birinci kümeyi oluşturmaktadır. Avustralya, Kanada, Güney Kore, Suudi Arabistan ve ABD ikinci kümede yer almaktadır. Çin, Güney Afrika ve Rusya üçüncü kümeyi oluşturmaktadır. G20 üyelerinden Avrupa kıtasında yer alan ve Birleşik Krallık dışında hepsi AB üyesi olan Almanya, Fransa ve İtalya, AB ile birlikte dördüncü küme içine düşmektedir. Hindistan ve Endonezya ise beşinci kümede yer almaktadır.

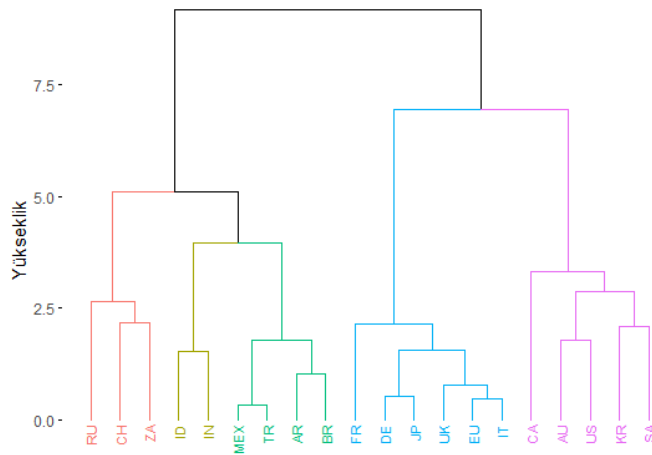
Grafik 5'te kümeleme sonuçlarının dendrogramı; Grafik 6'da ise kümeleme sonuçları temel bileşen analizi ile iki boyuta indirgenerek görselleştirilmektedir.



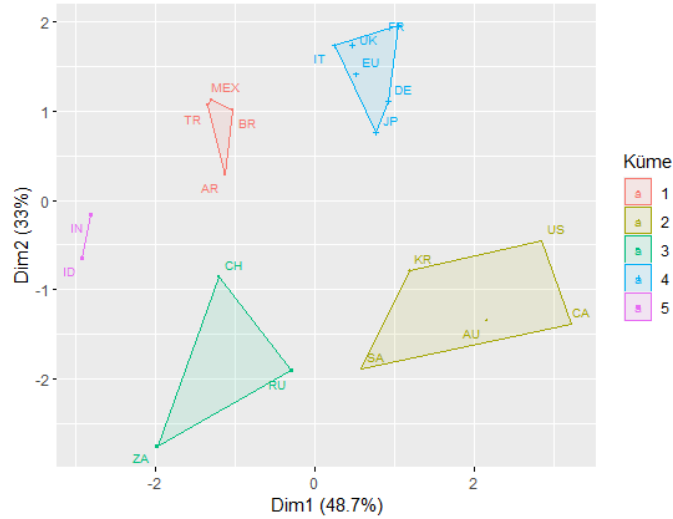
Şekil 3. Silüet Yöntemine Göre Optimum Küme Sayısı



Şekil 4. Açıklık İstatistiği Yöntemine Göre Optimum Küme Sayısı



Şekil 5. Kümeleme Analizi Sonuçlarının Dendrogram Grafiği



Şekil 6. Kümeleme Analizi Sonuçlarının Görselleştirilmesi

Sonuç

Bir çevre sorunu olarak ulusal ve uluslararası gündemin üst sıralarına yükselmeye başladığı ilk yıllardan itibaren küresel ısınma ve iklim değışikliği ile ilgili tartışmaların en önemli konusu, iklim azaltım hedefi olmuştur. Ekonomik ve ekolojik açıdan etkin ve etkili azaltım hedefi konusunda farklı görüşler ileri sürülmüş, ancak uluslararası düzeyde yapılan anlaşmalar sonucunda azaltım hedefi konusu büyük ölçüde kapanmıştır. 2015 yılında imzalanan Paris Anlaşması ile birlikte 1,5 oC ve 2 oC'lik sıcaklık hedefleri, büyük oranda küresel bir standart haline gelmiştir. Buna karşın ülkeler arasında bulunan ekonomik, sosyal ve teknolojik farklılıklar bu küresel hedefin uygulanmasında önemli bir engel teşkil etmektedir. Nüfus, ekonomi, enerji kullanımı ve sera gazı emisyonları bakımından dünya içindeki payları dikkate alındığında G20 üyeleri üzerine yapılan bir analiz küresel tablonun anlaşılması açısından kritik belirtiler sunmaktadır. Kümeleme analizinin sonuçları; toplam sera gazı emisyonları, milli gelir, enerji ve elektrik tüketimi gibi değışkenlere bağlı olarak ülkeler arasındaki farklılıklara uygun bir tablo ortaya koymaktadır. G20 üyeleri baz alındığında nüfus, ekonomik aktivite ve enerji kullanımı açısından gelişmekte ve gelişmiş ülkeler arasındaki açığın kapandığı görülmektedir. Bununla birlikte yoğunluk değışkenleri gelişmekte ve gelişmiş ülkeler arasındaki ayrımın devam ettiğini göstermektedir. Aralarında Türkiye'nin de bulunduğu Arjantin, Brezilya, Meksika'nın aynı küme içinde olması sürpriz değildir. AB üyesi ülkelerle ABD, Kanada, Güney Kore ve Avustralya'nın ayrı kümelerde yer alması, uluslararası müzakerelerde ülkelerin aldıkları pozisyonların sürpriz olmadığını göstermektedir. En önemli petrol ihracatçıları arasında bulunan Suudi Arabistan'ın ABD ile birlikte 2. küme içinde yer alması da dikkati çekmektedir. Çin, Rusya ve Güney Afrika'nın enerji sistemleri içinde fosil yakıtlar önemli rol oynamaktadır. G20 üyeleri arasındaki farklar Paris Anlaşması'nda belirlenen sıcaklık hedeflerine varılmasını sağlayabilecek emisyon indirimlerinin ülkeler arasındaki işbirliğini zorunlu hale getirdiğini göstermektedir. Bu nedenle Paris Anlaşması hedefleriyle uyumlu emisyon azaltımlarının yapılması, ölçülmesi, raporlanması ve gelişmiş ülkelere yapılacak yatırım, destek ve yardımlar, iklim politikasının asıl tartışma konuları olacaktır.

Hakem Deđerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadığını beyan etmiştir.

Yazar Katkısı: Çalışma Konsepti/Tasarımı: M.T., S.D.; Veri Toplama: M.T., S.D.; Veri Analizi /Yorumlama: M.T., S.D.; Yazı Taslağı: M.T., S.D.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi: M.T., S.D.; Son Onay ve Sorumluluk: M.T., S.D.

Peer Review: Externally peer-reviewed

Conflict of Interest: The authors have no conflict of interest to declare.

Grant Support: : The authors declared that this study has received no financial support.

Author Contributions: Conception/Design of study: M.T., S.D.; Data Acquisition: M.T., S.D.; Data Analysis/Interpretation: M.T., S.D.; Drafting Manuscript: M.T., S.D.; Critical Revision of Manuscript: M.T., S.D.; Final Approval and Accountability: M.T., S.D.

ORCID:

Mutlu Tüzer 0000-0001-9125-2542
Seyhun Doğan 0000-0003-3450-0612

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Climate Action Tracker (CAT) (2023). Data portal. <https://climateactiontracker.org/data-portal/>.
- Climate Watch (CW) (2023). Climate watch: Data explorer. <https://www.climatewatchdata.org/data-explorer/historical-emissions?historical-emissions-data-sources=climate-watch&historical-emissions-gases=all-ghg&historical-emissions-regions=All%20Selected&historical-emissions-sectors=total-including-lucf%2Ctotal-including-lucf&page=1>.
- Erlich, P. R., Holdren, J. P. (1971). Impact of population growth. *Science* 171(3977):1212-1217.
- International Energy Agency (IEA) (2019). CO₂ emissions from fuel combustion: Highlights. IEA/OECD.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1990). Climate change: The ipcc scientific assessment. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_I_full_report.pdf.
- IPCC (2013). AR5 Climate change 2013: The physical science basis. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf.
- IPCC (2014). AR5 Climate change 2014: Mitigation of climate change. Cambridge University Press.
- Jackson, T. (2009). Prosperity without growth: Economics for a finite planet. EarthScan.
- Nordhaus, W. D. (2013). Climate casino: Risk, uncertainty and economics for a warming world. Yale University Press.
- Nordhaus, W. D. (2021). The spirit of green: The economics of collisions and contagions in a crowded world. Princeton University Press.
- Rahmstorf, S., Schellnhumber, H. J. (2020). İklim Değişikliği teşhisi tahmini çözümü. çev. Hülya Kaya. Runik Kitap.
- Tol, R. S. J. (2014). Climate economics: Economic analysis of climate, climate change and climate policy. Edward Elgar Publishing.
- Tol, R. S. J. (2019). Climate economics: Economic analysis of climate, climate change and climate policy. Edward Elgar Publishing.
- Stern, N. (2007). The economics of climate Change: The stern Review. Cambridge University Press.
- Stern, N. (2015). Why are waiting. The MIT Press.
- U.S. Global Change Research Program (USGCRP) (2017). .Climate science special report: Fourth national climate assessment volume I. https://science2017.globalchange.gov/downloads/CSSR2017_FullReport.pdf.
- Worldbank (WB) (2023). Worldbank data: Electric power consumption. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC>, 23 Mayıs 2023.

How cite this article / Atf Biçimi

Tuzer, M., & Dogan, S. (2023). Sera gazı emisyon ölçütleri üzerine k-ortalama ve hiyerarşik kümeleme analizi: G20 örneği. *EKOIST Journal of Econometrics and Statistics*, 39, 89-100. <https://doi.org/10.26650/ekoist.2023.39.1369769>